

Evolution annuelle du peuplement zooplanctonique dans un lagunage à haut rendement et incidence du temps de séjour

Seasonal structure of zooplankton in high rate ponds and residence time influence

S. Canovas, C. Cassellas, B. Picot, G. Pena et J. Bontoux

Volume 4, numéro 2, 1991

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/705100ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/705100ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)

1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Canovas, S., Cassellas, C., Picot, B., Pena, G. & Bontoux, J. (1991). Evolution annuelle du peuplement zooplanctonique dans un lagunage à haut rendement et incidence du temps de séjour. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 4(2), 269–289. <https://doi.org/10.7202/705100ar>

Résumé de l'article

Proposé au début des années soixante par W.J. OSWALD, le lagunage dit « à haut rendement », utilisé pour l'épuration d'eaux usées domestiques, représente un écosystème hypereutrophe. Il se distingue considérablement du lagunage naturel par des temps de séjour très courts (2 à 12 jours), de très faibles profondeurs (< 1 m) et par une agitation constante de façon à favoriser le développement algal.

Cette étude a pour objectifs de : 1) caractériser les successions saisonnières du zooplancton dans un écosystème où celles-ci n'ont pratiquement pas été étudiées et 2) étudier l'impact, sur la structure du peuplement et au fil des saisons, du temps de séjour des eaux à traiter.

Le suivi du peuplement zooplanctonique a été réalisé pendant une période de deux ans dans deux bassins à haut rendement (nommés A et B) de même configuration alimentés en eaux usées. Les temps de résidence des eaux à traiter sont constants et de huit jours dans l'un, variable et ajusté selon l'ensoleillement et la charge entrante dans l'autre.

Les résultats obtenus sont analysés par une classification hiérarchique avec contrainte de contiguïté temporelle. Les groupes obtenus sont ensuite testés par l'analyse discriminante. Les résultats sont regroupés chronologiquement : en six groupes pour le bassin B et en dix groupes pour le bassin A. L'analyse discriminante montre que les Crustacés et les Rotifères sont respectivement responsables des regroupements dans les bassins B et A. Pendant la période de démarrage du lagunage ainsi qu'en automne et en hiver, le zooplancton est principalement composé de Protozoaires : Ciliés libres ou fixés en fortes densités (jusqu'à $2,7 \cdot 10^7 \text{ ind. l}^{-1}$) et Rhizopodes (Amibes). Au printemps et en été, lorsque le rayonnement solaire devient important, la production primaire étant optimale, les Protozoaires sont remplacés par des brouteurs herbivores métazoaires. La production de Rotifères et de Daphnies dont les exigences en nourriture (microalgues) sont considérables est importante au printemps ou bien en été uniquement dans le bassin à temps de séjour court. Le développement des Crustacés Copépodes et Ostracodes est favorisé en été dans le bassin à temps de séjour plus long.

Tous ces organismes participent activement à réparation. Ils se nourrissent pour la plupart en filtrant les éléments en suspension dans le milieu et participent directement à l'élimination des MES et de la DCO (PIZAY-PARENTY, 1985).

Il devient donc envisageable, par suite du rôle non négligeable joué par le zooplancton et surtout par *Daphnia magna*, de concevoir une gestion du lagunage qui favoriserait le développement de ce Cladocère. Cette biomasse facilement récupérable par tamisage peut être valorisée en aquaculture.

Evolution annuelle du peuplement zooplanctonique dans un lagunage à haut rendement et incidence du temps de séjour*

Seasonal structure of zooplankton in high rate ponds and residence time influence

Sophie CANOVAS¹, Claude CASELLAS¹, Bernadette PICOT¹, Geneviève PENA¹, J. BONTOUX¹

Reçu le 18 juin 1990, accepté le 21 décembre 1990**.

RÉSUMÉ

Proposé au début des années soixante par W.J. OSWALD, le lagunage dit « à haut rendement », utilisé pour l'épuration d'eaux usées domestiques, représente un écosystème hypereutrophe. Il se distingue considérablement du lagunage naturel par des temps de séjour très courts (2 à 12 jours), de très faibles profondeurs (< 1 m) et par une agitation constante de façon à favoriser le développement algal.

Cette étude a pour objectifs de : 1) caractériser les successions saisonnières du zooplancton dans un écosystème où celles-ci n'ont pratiquement pas été étudiées et 2) étudier l'impact, sur la structure du peuplement et au fil des saisons, du temps de séjour des eaux à traiter.

Le suivi du peuplement zooplanctonique a été réalisé pendant une période de deux ans dans deux bassins à haut rendement (nommés A et B) de même configuration alimentés en eaux usées. Les temps de résidence des eaux à traiter sont constants et de huit jours dans l'un, variable et ajusté selon l'ensoleillement et la charge entrante dans l'autre.

Les résultats obtenus sont analysés par une classification hiérarchique avec contrainte de contiguïté temporelle. Les groupes obtenus sont ensuite testés par l'analyse discriminante. Les résultats sont regroupés chronologiquement : en six groupes pour le bassin B et en dix groupes pour le bassin A. L'analyse discriminante montre que les Crustacés et les Rotifères sont respectivement responsables des regroupements dans les bassins B et A. Pendant la période

1. Département Sciences de l'Environnement et Santé publique, UA CNRS 1355, Faculté de Pharmacie, av. Charles Flahault, 34060 Montpellier, tél. : 67.63.01.09.

* Communication présentée au 34^e Congrès de l'Association Française de Limnologie, Metz-Nancy, 29-31 mai 1990.

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 décembre 1991.

de démarrage du lagunage ainsi qu'en automne et en hiver, le zooplancton est principalement composé de Protozoaires : Ciliés libres ou fixés en fortes densités (Jusqu'à $2,7 \cdot 10^7$ Ind. l^{-1}) et Rhizopodes (Amibes). Au printemps et en été, lorsque le rayonnement solaire devient important, la production primaire étant optimale, les Protozoaires sont remplacés par des brouteurs herbivores métazoaires. La production de Rotifères et de Daphnies dont les exigences en nourriture (microalgues) sont considérables est importante au printemps ou bien en été uniquement dans le bassin à temps de séjour court. Le développement des Crustacés Copépodes et Ostracodes est favorisé en été dans le bassin à temps de séjour plus long.

Tous ces organismes participent activement à l'épuration. Ils se nourrissent pour la plupart en filtrant les éléments en suspension dans le milieu et participent directement à l'élimination des MES et de la DCO (PIZAY-PARENTY, 1985).

Il devient donc envisageable, par suite du rôle non négligeable joué par le zooplancton et surtout par *Daphnia magna*, de concevoir une gestion du lagunage qui favoriserait le développement de ce Cladocère. Cette biomasse facilement récupérable par tamisage peut être valorisée en aquaculture.

Mots clés : zooplancton, structure du peuplement, successions planctoniques, lagunage à haut rendement, traitement des eaux usées, eaux usées domestiques.

SUMMARY

High rate ponds for wastewater treatment have been the focus of much attention since their creation by W.J. OSWALD in the early 1960's. These aquatic ecosystems are hypereutrophic because of massive nutrient introduction by wastewater influents. These kinds of ponds are very different from natural biological ponds because of short residence times (2 to 12 days), shallow depths (< 1 m) and constant mechanical mixing which improve algæ growth.

This study presents the following objectives : 1) to characterize seasonal successions of zooplankton in this ecosystem where they are unknown and 2) to study residence time influence on zooplanktonic successions in function of seasons. Our investigation consists in studying two similar high rate ponds of 48 m² surface area and 35 cm depth constantly stirred by paddle wheels.

Only residence time is different. The first pond has eight days residence time and in the second one, it changes with solar radiations and organic matter concentrations. The influents come from a primary pond of eight days residence time, fed continuously with domestic influents from a small town, Mèze. The aim of this experiment is to compare seasonal successions in these two high rate ponds (called A and B) with different residence times. Zooplanktonic investigation has been carried out for two years. One sample was collected twice a week in primary pond effluent and two others samples collected once a week into the two high rate ponds near the outflow areas. The results of chronological clustering take into account the discontinuities of zooplanktonic structure. We obtain six sequences in B pond and ten groups in A pond. Stepwise discriminant analysis shows that Crustaceans and Rotifers are respectively responsible for chronological clustering in B and in A pond. During the starting period of wastewater treatment and in autumn and in winter, photosynthesis is low and zooplankton is composed mainly of Protozoa : free-living or fixed Ciliates in great concentrations (until $2,7 \cdot 10^7$ Ind. l^{-1}) and Rhizopods (*Amæba* sp.). These organisms have important food needs (bacteria and algal detritus). During spring and summer, as solar radiations become important, Protozoa are replaced by metazoan grazers. Spring or summer

with short residence times increase Rotifers or *Daphnia magna* production while summer with longer residence times increase *Cyclops* sp and *cypris ovum* production. All these organisms are active components of wastewater treatment : the consumption of particulates by zooplankton increases TSS and COD removal efficiencies (PIZAY-PARENTY, 1985).

Therefore, because of the filtering activity of Crustaceans (especially of *Daphnia magna*), it seems possible to conceive a new pond management, with residence time changes, favourable to exponential algæ growth and consequently to crustacean biomass production. It is easier to harvest this biomass (with nets) than to harvest algal biomass, which still presents problems.

Key-words : zooplankton, population structure, planktonic successions, high rate oxidation pond, wastewaters treatment, domestic wastewaters.

1 - INTRODUCTION

Le principe du lagunage pour le traitement des eaux usées est essentiellement fondé sur l'action conjuguée des algues et des bactéries. Le zooplankton, quant à lui, représente un groupe biologique non négligeable puisqu'il peut, par son action en tant que consommateur primaire, contrôler les proliférations algales issues de ce mode d'épuration des eaux (LINCOLN *et al.*, 1983). La production animale dépend de la température et de la qualité de la nourriture disponible qui est consommée par le zooplankton, cette consommation variant en fonction des conditions physico-chimiques, de la nature des algues et de la nature du zooplankton (POURRIOT *et al.*, 1982).

Le but du lagunage à haut rendement était à l'origine de produire des algues (microalgues ou algues filamenteuses). Pour cette raison, la multiplication du zooplankton, considéré comme consommateur indésirable, a toujours été défavorisée. Mais par la suite, de nombreuses équipes ont appliqué ce procédé au traitement des eaux usées domestiques (KOOPMAN *et al.*, 1980) ou des effluents de porcherie (GROENEWEG *et al.*, 1980). L'étude du comportement du plancton animal (des Rotifères en particulier) s'est alors développée, en relation avec la nature des algues présentes (SCHLÜTER *et al.*, 1987) mais aucun auteur n'a réalisé un suivi complet du peuplement dans cet écosystème particulier.

Notre étude porte sur les successions saisonnières du zooplankton dans deux lagunages à haut rendement construits selon le modèle proposé par OSWALD (1988). Ce type de lagunage, conçu au début des années soixante par W.J. OSWALD (1963) constitue un écosystème différent des bassins de lagunage classique. En effet, il est caractérisé par des temps de séjour très inférieurs (2 à 12 jours au lieu de 40 à 70 jours), des profondeurs plus faibles (30 à 60 cm au lieu de 1,10 à 1,40 m) et par une agitation mécanique constante, créée par une roue à aubes, de façon à maintenir une homogénéisation de la masse d'eau et à favoriser le développement algal (SHELEF *et al.*, 1980). Cette

agitation rend négligeable l'action des coups de vent et leur incidence dans le déclenchement des successions saisonnières (REYNOLDS, 1989).

Les objectifs de cette étude sont donc : 1) de mettre en évidence les successions d'espèces ou de groupes d'espèces dans nos bassins, 2) de montrer l'existence d'un cycle saisonnier et de déterminer les organismes qui en sont principalement responsables et 3) de déterminer l'influence du temps de séjour dans les bassins expérimentaux.

2 - MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Description de l'Installation

Les bassins pilotes de lagunage à haut rendement (*fig. 1*) sont localisés sur le site de la station de Lagunage de Méze (Hérault) et reçoivent des eaux usées domestiques. Après les opérations classiques de dégrillage, de dessablage et un séjour d'une semaine dans un bassin primaire, les eaux à traiter pénètrent dans deux bassins dits « à haut rendement ». Ces bassins (nommés A et B), sont de 48 m² de superficie et de 35 cm de profondeur. Une roue à aubes fonctionne en permanence, assurant l'homogénéisation de la masse d'eau. Ces deux bassins diffèrent essentiellement par le temps de résidence des eaux à traiter. De plus, contrairement au bassin A, avant sa mise en fonctionnement, le bassin B a fait l'objet d'un ensemencement algal et d'un fonctionnement en batch pendant un mois.

Afin de tester l'influence du temps de séjour sur le peuplement zooplanctonique, nous avons maintenu le bassin B à un temps de séjour de huit jours. Pour le bassin A, nous avons testé deux démarches d'ajustement du temps de résidence. La première année (fév. 1988 – fév. 1989), le temps de séjour a été maintenu à huit jours pendant la période de mise en fonctionnement puis à quatre jours. La seconde année, les temps de séjour sont calculés pour le bassin A en fonction des valeurs de l'éclairement et de la DBO entrante (OSWALD, 1988). On cherche ainsi à obtenir les meilleurs rendements épuratoires pour les temps de séjour les plus courts possible. On aboutit aux temps de séjour suivants :

----- 1988 -----	→	←----- 1989 -----	→	←1990
F M A M J J A S O N D		J F M A M J J A S O N D		J
←---8---×		-----4-----		×
		8	×	6
		×	4	×
		2	×	3
		×		12

temps de séjour
(en jours)

2.2 Plan d'échantillonnage et prélèvements

Au cours des deux ans de suivi (fév. 1988 – janv. 1990), trois stations d'échantillonnage sont prospectées. La sortie du bassin primaire est

échantillonnée tous les 15 jours (53 prélèvements au total). Dans chacun des deux lagunages à haut rendement, une station de prélèvement est échantillonnée hebdomadairement (105 prélèvements) à l'intérieur du bassin.

Les échantillons sont recueillis par immersion manuelle d'un flacon en plastique de deux litres à ouverture large (60 cm) puis fixés sur le terrain par ajout de 10 % v/v de formol. Ensuite, le macrozooplankton est séparé du microzooplankton par filtration différentielle sur soies à bluter de 100 et 35µm de vide de mailles. Un autre échantillon, non fixé, est conservé pour l'identification des organismes susceptibles d'être déformés par la fixation.

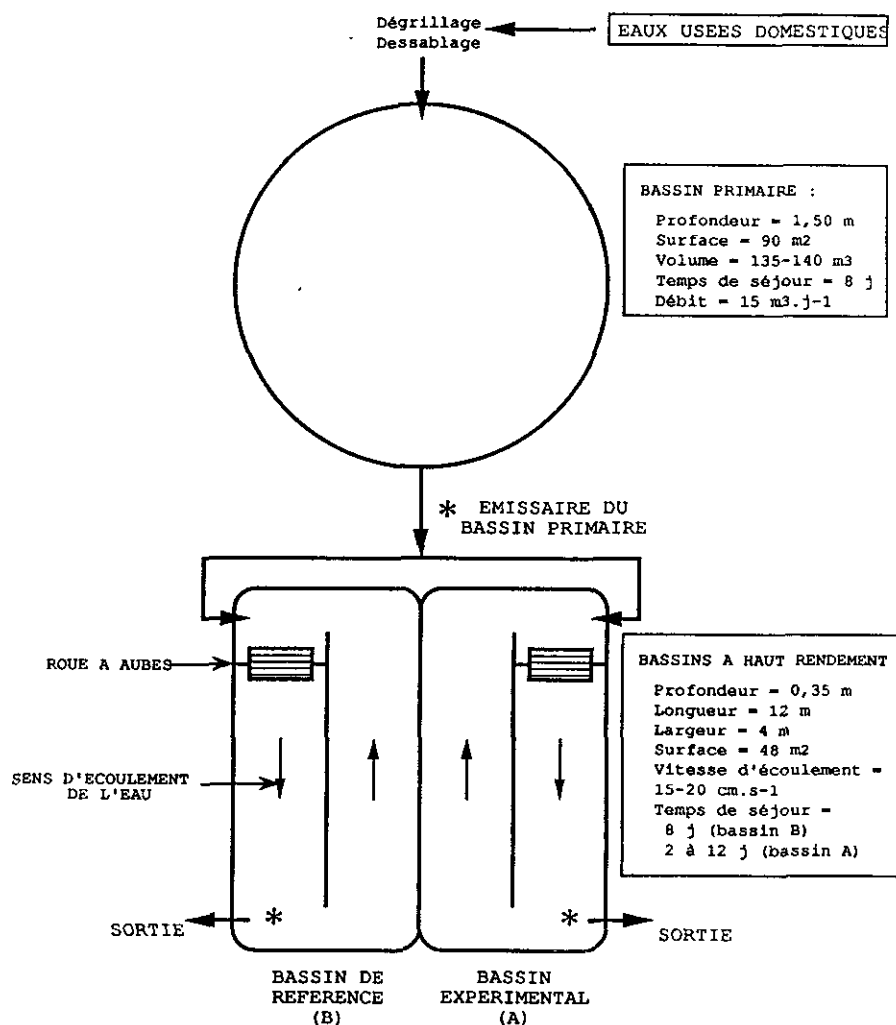


Figure 1 Schéma et caractéristiques de l'installation pilote de lagunage à haut rendement et localisation des stations de prélèvement (☆).

Description of high rate pond system for wastewater treatment and sampling points position (☆).

2.3 Analyse du peuplement

a) Identifications et dénombrements

L'identification des organismes au niveau générique est réalisée dans les échantillons frais et sous microscope, à l'aide de l'ouvrage de WARD et WHIPPLE (1959). Le microzooplancton de taille comprise entre 35 et 100 μm est sous-échantillonné et le dénombrement est réalisé au grossissement 40 sur cellule de Nageotte. Les Ciliés de taille supérieure à 100 μm ne sont pas pris en compte dans les dénombrements. Le comptage de tous les individus macrozooplanctoniques est effectué dans une cuve de Dolfuss sous la loupe binoculaire.

b) Estimation de la biomasse

Pour les Protozoaires, la biomasse (en mg) est calculée sur une trentaine d'individus de chaque genre ou espèce à l'aide de l'expression donnée par PIZAY-PARENTY (1985) :

$(4\pi/3) \cdot (S/\pi)^{3/2} \cdot 10^9$, où S est la surface de la silhouette d'un organisme. Nous avons estimé cette surface par $L \cdot l$, où L et l sont les longueur et largeur (en m) d'un individu.

Les biomasses des Rotifères, des Copépodes et des Cladocères sont déduites des relations taille/poids proposées par BOTTRELL *et al.* (1976).

2.4 Méthodes statistiques

Les groupes taxonomiques de zooplancton sont décrits par les moyennes arithmétiques et géométriques des 105 prélèvements, par la médiane ainsi que par les valeurs minimales et maximales de la distribution.

La recherche d'éventuels phénomènes périodiques se fait à l'aide de la méthode de groupements chronologiques (LEGENDRE *et al.*, 1985). Cette méthode est basée sur un processus de groupements hiérarchiques à liens intermédiaires (un niveau de connexité de 50 % a été utilisé) et tient compte d'une contrainte de contiguïté temporelle : des paires de valeurs ou de groupes de valeurs ne sont fusionnées que si elles ont satisfait cette contrainte (Progiel R, LEGENDRE, 1985). Pour utiliser le groupement hiérarchique, il faut au préalable obtenir une mesure d'association des prélèvements entre eux. La matrice d'association entre les prélèvements est obtenue par le calcul du coefficient de similarité de Steinhaus (LEGENDRE et LEGENDRE, 1984), bien adapté aux mesures d'abondances du zooplancton. Pour chaque couple de prélèvements, ce coefficient compare la somme des plus petites biomasses obtenues aux deux prélèvements à leur biomasse moyenne.

Le découpage en classes des biomasses a été fait après examen de la distribution des fréquences de chaque groupe taxonomique et afin de décrire, au mieux, la contribution de chacun des groupes dans la succession faunistique. Le nombre de classes est de 3 ou 4 pour les groupes taxonomiques qui présentent de nombreuses valeurs nulles et de 6 pour les groupes fréquemment représentés dans l'échantillon : Ciliés libres et fixés et Rotifères. On tente ainsi, pour un groupe taxonomique donné, d'obtenir à peu près le

même effectif dans chacune de ses classes. Bien qu'elle implique une perte d'information, cette transformation des données est nécessaire pour la mise en évidence de différences qui ont une signification écologique. C'est sur les données ainsi transformées que l'on réalise la matrice de similarité qui attribue un niveau de ressemblance de 0 à 1 (ressemblance parfaite) à chaque paire d'individus.

3 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les abondances et biomasses de zooplankton sont estimées en nombre d'ind.ml⁻¹ et en mg.l⁻¹ de poids frais, puis ces valeurs font l'objet d'une transformation logarithmique $-\log_{10}(x + 1)$ pour les traitements numériques ultérieurs.

3.1 Composition du peuplement

Les Protozoaires, de taille inférieure à 100 µm, sont relativement diversifiés et comprennent de nombreux genres ou espèces de Ciliés, sous forme libre (*Aspidisca costata*, *Colpidium* sp, *Colpoda* sp, *Didinium* sp, *Euplotes* sp, *Halteria* sp, *Lionotus* sp, *Paramecium* sp (type *caudatum*), *Trachelius* sp (type *ovum*) et *Uronema* sp) ou bien fixée à un support en suspension dans l'eau par un pédoncule : *Opercularia coarctata*, *Tokophrya* sp, *Vorticella* sp. 1 (type *microstoma*) et *Vorticella* sp.2 (type *campanula*). En moindre densité, on peut observer des Rhizopodes, principalement des Amibes : *Amoeba* sp.1 (type *limax*), *Amoeba* sp.2 (type *proteus*), *Amoeba* sp.3 (type *radiosa*) et *Amoeba* sp.4 (type *verrucosa*) et un genre d'Actinopode : *Actinophrys* sp.

Les Métazoaires sont représentés par un nombre plus réduit de taxons que les Protozoaires. Les Nématodes sont surtout dénombrés à la sortie du lagunage primaire. Les Rotifères (taille : 0,01 – 1 mm) sont représentés par les Brachions, genre le plus commun (*Brachionus calyciflorus*, *B. rubens* et *B. bidentatus*) et par *Cephalodella* sp, *Filinia* sp, *Epiphanes senta* et *Philodina* sp. Les Crustacés sont représentés par 3 espèces : un Copépode (*Cyclops* sp, taille : 0,5 – 3,5 mm), un Cladocère (*D. magna*, taille : 0,3 – 12 mm) et un Ostracode (*Cypris ovum*).

A l'exception des formes comme *Lionotus* sp et *Didinium* sp qui sont carnivores, ces organismes héléoplanctoniques, capables de proliférer dans les bassins de lagunage, sont essentiellement herbivores. Ils constituent une faune typique des eaux stagnantes peu profondes (ANGELI, 1976) ou des eaux fortement chargées en matière organique (HALL *et al.*, 1976). Selon PIZAY-PARENTY (1985) leur contribution à l'épuration s'effectue soit par le jeu de la floculation (en sécrétant des substances de type muqueux qui font flocculer les particules en suspension et les bactéries) soit par le jeu de la prédation. Le

spectre alimentaire est plus ou moins étendu selon les espèces considérées. Les plus petits organismes, les Protozoaires ciliés et les Rotifères du genre *Brachionus*, consomment des particules de petite taille (1 à 15 μm) : bactéries, microdétritus ou microalgues (par exemple *Chlorella* sp ou *Chloridella* sp). Les plus grosses espèces filtrent l'eau de façon plus efficace et consomment des particules de plus grande taille (HALL *et al.*, 1976). DINGES (1974) met notamment en évidence les capacités de filtration élevées du Cladocère *D. magna* et GELLER et MÜLLER (1981) définissent pour cette espèce un spectre alimentaire très large : 0,3 – 60 μm (incluant MES variées, bactéries et microalgues), avec une préférence pour les particules de taille comprise entre 4 et 7 μm . Les Copépodes Cyclopidae par contre, ne peuvent filtrer efficacement que des particules de grande taille (ANGELI, 1976). L'élimination des MES présentes dans le milieu est proportionnelle à la capacité de filtration de la biocénose (PIZAY-PARENTY, 1985).

Quelques larves d'insectes viennent s'ajouter à cette liste : il s'agit de larves de Diptères (*Chironomidæ* sp et *Culicidæ* sp) et d'Hémiptères (*Corixidæ* sp).

3.2 Peuplement de l'émissaire du bassin primaire

En fin de traitement primaire, six groupes zooplanctoniques sont présents et leur évolution temporelle (en densité et en biomasse) est représentée sur la figure 2. Les Protozoaires sont représentés par les Ciliés libres, les Ciliés fixés et les Rhizopodes. Les Métazoaires sont représentés par les Rotifères, les Nématodes et les Copépodes. La densité peut atteindre 10^2 ind.ml^{-1} et la biomasse fraîche totale 10 mg.l^{-1} .

Les microalgues se développent difficilement dans le bassin primaire ($< 200.10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$). Le peuplement phytoplanctonique, soumis à des variations brutales des conditions physico-chimiques, est à tendance monospécifique, dominé en été par *Chloridella* et le reste de l'année par *Chloromonas*. Les Ciliés libres constituent la plus grande partie du peuplement zooplanctonique, qu'il soit estimé en densité (jusqu'à 10^2 ind.ml^{-1}) ou en biomasse fraîche (jusqu'à $5,5 \text{ mg.l}^{-1}$). Ces Protozoaires ne se développent dans le lagunage primaire qu'au printemps et en été, alors que la DCO totale, l'azote ammoniacal et les orthophosphates sont respectivement de l'ordre de 300 mg.l^{-1} , 20 mgN.l^{-1} et $6,5 \text{ mgP.l}^{-1}$ (EL HALOUANI, 1990). Selon ANGELI (1979), ils possèdent vis-à-vis des charges rencontrées une tolérance supérieure à celle des Rotifères les plus tolérants. On dénombre également pendant cette période quelques Métazoaires, notamment des Nématodes ($\leq 1 \text{ ind.ml}^{-1}$) et le Rotifère *B. calyciflorus*. En automne et en hiver, aucun organisme zooplanctonique n'est capable de se développer pendant le traitement primaire en raison des pH, températures et ensoleillements faibles et de la présence limitée du phytoplancton. Les charges organiques et minérales sont plus élevées qu'aux autres saisons : 400 mg.l^{-1} de DCO totale, 25 mg.l^{-1} de N-NH_4^+ et $7,5 \text{ mg.l}^{-1}$ de P-PO_4^{3-} .

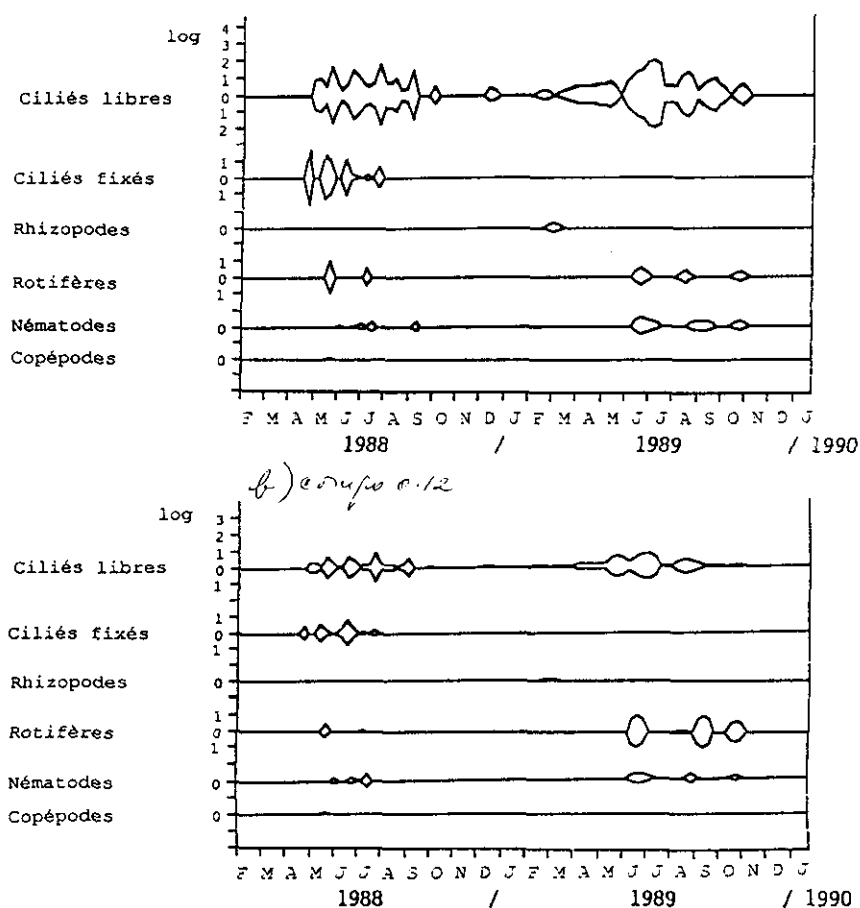


Figure 2 Evolution saisonnière des groupes taxonomiques de zooplancton à l'entrée des lagunages à haut rendement.

Seasonal variations of zooplankton categories in high rate ponds inflow.

a. Abondances (nb ind.mL⁻¹)
Densities (nb ind.mL⁻¹)

b. Biomasses fraîches (mg.L⁻¹)
Wet biomasses (mg.L⁻¹)

3.3 Structure temporelle du peuplement dans le bassin B

a) Caractéristiques du cycle annuel

Les évolutions saisonnières de l'abondance et de la biomasse zooplanctoniques totales (fig. 3) montrent :

- 1) une forte variabilité saisonnière de l'abondance et de la biomasse ;
- 2) des biomasses globalement plus élevées au printemps et en été en raison de l'apparition des Métazoaires de grande taille, filtreurs très efficaces,

en réponse aux fortes proliférations phytoplanctoniques. La densité des Méta-zoaires étant inversement proportionnelle à leur biomasse, c'est aussi à ce moment-là que l'effectif total est le plus faible ;

3) des densités parfois très élevées en hiver (1988) dues aux Protozoaires qui, en l'absence d'organismes compétitifs et en raison de leurs besoins alimentaires réduits (en matière de biomasse algale) et de leur importante tolérance vis-à-vis des caractéristiques physico-chimiques du milieu, trouvent des conditions qui leur sont favorables et qui entraînent leur multiplication exponentielle. Les biomasses sont minimales en hiver car les Protozoaires, de petite taille, représentent la plus grande partie de la biomasse.

En moyenne, on compte respectivement 5 et 6 taxons (essentiellement des Ciliés) en hiver et en automne, 11 au printemps et 7 en été (fig. 4).

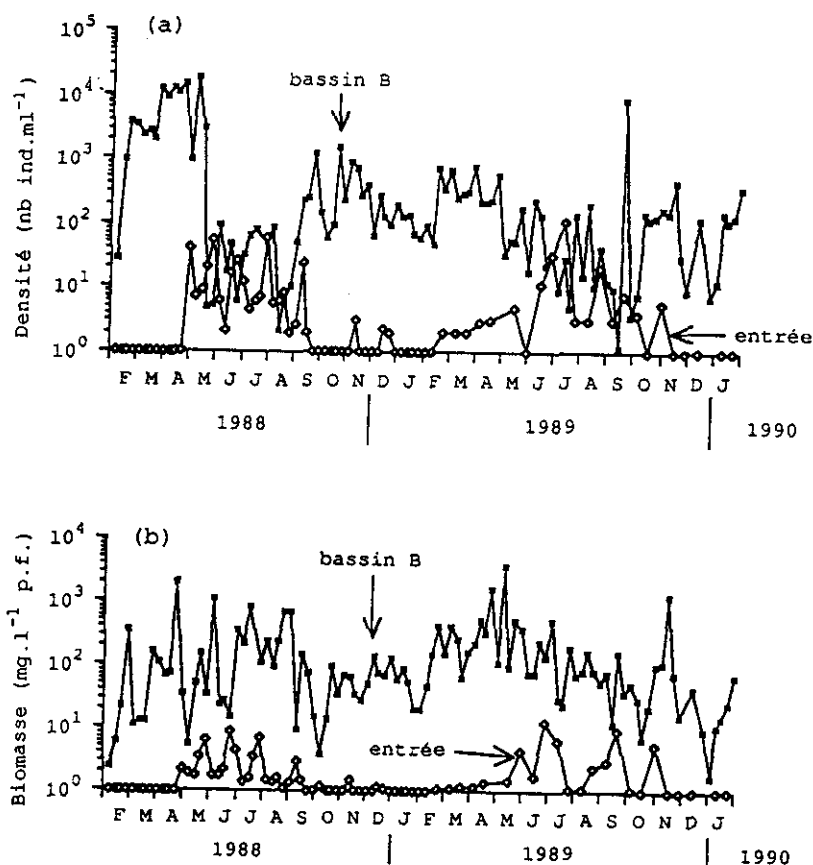


Figure 3 Evolution saisonnière des groupes taxonomiques de zooplancton en sortie du bassin primaire et dans le lagunage à haut rendement de référence (bassin B).

Seasonal variations of zooplankton categories in the inflow and in the reference high rate pond (B).

a. Abondances totales (nb ind.ml⁻¹)
Total densities (nb ind.ml⁻¹)

b. Biomasses fraîches totales (mg.l⁻¹)
Total wet biomasses (mg.l⁻¹)

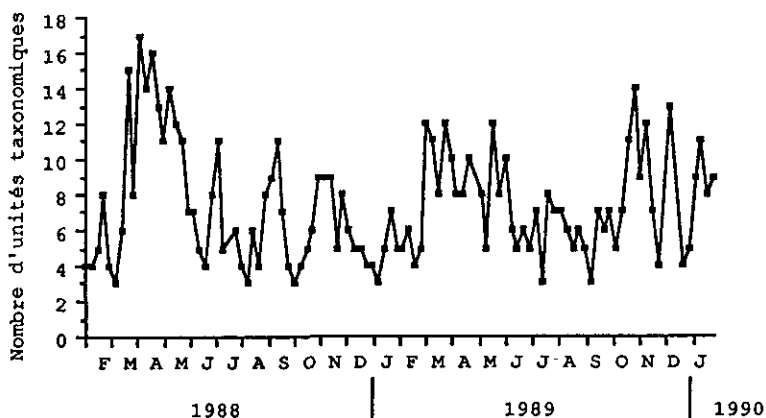


Figure 4 Evolution saisonnière de la richesse taxonomique dans le lagunage à haut rendement de référence (bassin B).

Seasonal variations of taxonomic richness in the reference high rate pond (B).

b) Répartition saisonnière des groupes zooplanctoniques

Résultats

Pour la réalisation ultérieure de la méthode des groupements chronologiques, la description des groupes taxonomiques dans le bassin B (*tableau 1*) ainsi que la distribution des fréquences permettent d'établir à l'intérieur de chacun des groupes taxonomiques, des classes de biomasses. Les catégories taxonomiques retenues sont au nombre de neuf : nous retrouvons les six catégories de l'entrée du bassin plus les Cladocères, les Ostracodes et les larves d'insectes.

Cette méthode de classification répartit les prélèvements en six groupements chronologiques caractérisés par la moyenne géométrique des groupes taxonomiques (*tableau 2*) et représentés graphiquement par la figure 5, qui montre les variations saisonnières des groupes taxonomiques de zooplancton dans le lagunage à haut rendement.

Une analyse discriminante a été utilisée comme aide à l'interprétation de cette classification chronologique. Elle a montré que les trois espèces les plus discriminantes étaient les Crustacés *Cypris ovum*, *Cyclops* sp et *D. magna*, car ils expliquent la plus forte proportion de prélèvements bien classés dans les groupes chronologiques.

Interprétation

Le groupe 1 est représentatif du démarrage du lagunage, qui a lieu pendant l'hiver 1988. Grâce à un ensemencement préalable en phytoplancton (*Chlorococcales*), cette séquence (d'une durée de 15 semaines), pendant laquelle la température ne dépasse pas 20 °C, se caractérise par

Tableau 1 Paramètres statistiques caractérisant les biomasses fraîches des groupes taxonomiques dans le lagunage à haut rendement de référence (bassin B).

Table 1 *Statistic parameters of wet biomasses of zooplankton categories in the reference high rate pond (B).*

	Nombre de prélèvements (n)	Moyenne arithmétique (mg. l ⁻¹ p.f.)	Moyenne géométrique (mg.l ⁻¹ p. f.)	Médiane (mg. l ⁻¹ p.f.)	Minimum (mg. l ⁻¹ p.f.)	Maximum (mg. l ⁻¹ p. f.)
Ciliés libres	105	13,61	4,70	2,6	0	153
Ciliés fixés	105	6,02	3,33	1,9	0	66
Rhizopodes	105	0,13	1,06	0	0	8,3
Rotifères	105	63,46	7,93	5,5	0	1 564
Nématodes	105	1,88	1,43	0	0	71
Copépodes	105	29,90	2,02	0	0	1 956
Cladocères	105	67,33	2,57	0	0	3 594
Ostracodes	105	12,22	2,65	0	0	218
Larves d'insectes	105	15,21	1,90	0	0	435

Tableau 2 Moyenne géométrique des biomasses fraîches (mg.l⁻¹) des groupes chronologiques dans le lagunage à haut rendement de référence (bassin B).

Table 2 *Geometric mean of wet biomasses (mg.l⁻¹) of chronological groups in the reference high rate pond (B).*

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6
Nombre de prélèvements	15	12	35	6	20	17
Ciliés libres	18,67	1,64	8,83	1,95	2,10	3,59
Ciliés fixés	1,93	2,41	7,74	3,37	1,33	3,52
Rhizopodes	1,44	0	1,01	0	1,00	1,01
Rotifères	2,07	27,76	8,62	155,03	3,01	10,40
Nématodes	1,73	0	2,04	1,39	1,00	1,18
Copépodes	1,75	1,86	0	0	17,00	1,08
Cladocères	0	48,01	2,14	7,10	1,95	1,05
Ostracodes	0	0	1,09	14,80	18,72	4,20
Larves d'insectes	0	3,94	2,60	1,46	2,02	1,05

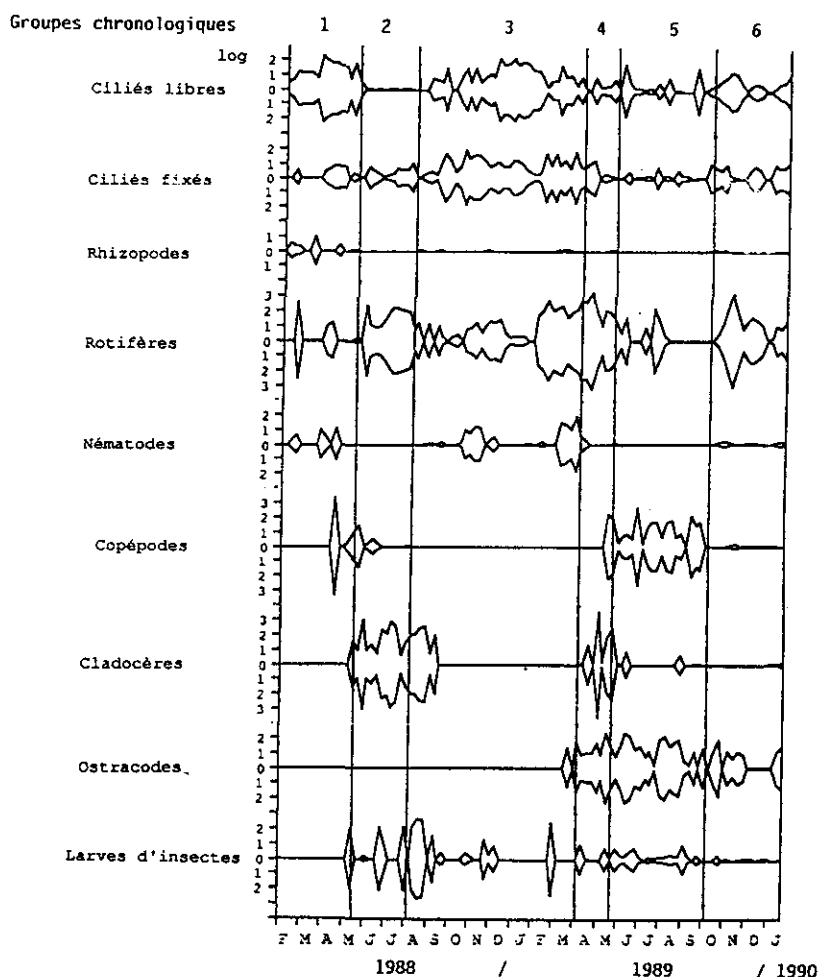


Figure 5 Evolution saisonnière des biomasses fraîches (mg.l^{-1}) des groupes taxonomiques de zooplancton dans le lagunage à haut rendement de référence (bassin B) et résultats du groupement chronologique.

Seasonal variations of wet biomasses (mg.l^{-1}) of zooplankton categories in the reference high rate pond (B) and results of a chronological clustering.

d'importantes productions de chlorophylle a ($> 2 \text{ mg.l}^{-1}$). L'activité photosynthétique des nombreuses cellules algales (en moyenne $1\,500 \cdot 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$; 80 % de *Scenedesmus* – 20 % de *Chlorella*) a pour conséquences une forte élimination ($> 60\%$) des nutriments ($< 5 \text{ mg.l}^{-1}$ de N-NH_4^+ ou de P-PO_4^{3-} résiduels) et une sursaturation de la masse d'eau en oxygène dissous ($10 - 26 \text{ mg.l}^{-1}$). Par contre, les germes tests de contamination fécale, Coliformes et Streptocoques fécaux, ainsi que *Pseudomonas aeruginosa* sont très peu

éliminés (BAHLAOU, 1990), tout comme la matière organique dissoute. Ainsi, bien que les conditions météorologiques (température et irradiation lumineuse) soient défavorables au métabolisme du zooplancton, on observe la mise en place d'une faune caractérisée par des biomasses non négligeables d'espèces peu sensibles aux fortes charges organiques rencontrées (Ciliés libres et Rhizopodes) et par la faible représentation des organismes métazoaires.

Les groupes 3 et 6 représentent des séquences correspondant aux saisons les moins ensoleillées et les plus froides de l'année : l'automne et l'hiver. La faible activité photosynthétique se traduit par une production minimale de chlorophylle a ($< 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$) donc par une oxygénation de l'eau réduite et par des valeurs de pH relativement peu élevées (de l'ordre de 8) et par une mauvaise assimilation phytoplanctonique des sels nutritifs. Les Ciliés, Rhizopodes et Nématodes dominent le peuplement zooplanctonique en raison de leur forte tolérance vis-à-vis de ces conditions physico-chimiques. Ces organismes sont fréquemment observés dans des milieux à forte charge tels que les boues activées ou les lits bactériens (VEDRY, 1987). Ces organismes expliquent l'existence du groupe 3. Leur présence est liée à d'importantes teneurs résiduelles en microorganismes et en matière organique dissoute. A Marrakech, au Maroc, TIFNOUTI (1987) note également en période hivernale, dans deux bassins de lagunage naturel placés en série, de fortes abondances des Protozoaires et la disparition des Métazoaires. L'espèce algale dominante à cette période est *Chlorella*. La dernière période froide du suivi (automne-hiver 1989-90) présente des températures plutôt élevées pour la saison. De ce fait, on observe dans le groupe 6 la mise en place d'un peuplement algal fortement dominé par des colonies de *Microcystis*, typiques en été et en automne des étangs moyennement eutrophes (ANGELI, 1976). Ce genre peut former des colonies dont les centaines de cellules sont maintenues groupées par une enveloppe mucilagineuse (SZE, 1986) qui les empêche vraisemblablement d'être broutées par les Rotifères et les Ostracodes. Ces Métazoaires se maintiennent dans le lagunage en hiver en raison des conditions météorologiques clémentes (températures de l'ordre de 10°C).

Les groupes 2 et 5 représentent des séquences correspondant aux saisons chaudes : 12 semaines en 1988 et 20 semaines en 1989. Ces périodes fortement ensoleillées sont caractérisées par les plus fortes productions chlorophylliennes ($2 - 4,5 \text{ mg.l}^{-1}$ de chlorophylle a) comme en témoignent les pH mesurés ($\text{pH} > 9$) et les teneurs réduites en nutriments. Le rendement d'élimination de l'azote ammoniacal est fréquemment de 100 %, ce qui permet d'exclure la toxicité éventuelle des ions ammonium à des pH élevés vis-à-vis d'organismes sensibles comme *D. magna*, présente à ce moment-là dans le lagunage. Les conditions physico-chimiques observées ainsi que la multiplication constante et en abondance de cellules algales permettent le développement d'organismes dont les besoins en nourriture et en oxygène sont quantitativement très importants : *D. magna* et *Brachionus*. Ceci se traduit par la disparition totale des microalgues à mesure qu'elles sont formées. Le groupe 2 met en évidence l'important développement de *D. magna* (à laquelle sont attachées de nombreuses Vorticelles) et des Rotifères *B. rubens* et *B. calyciflorus*. Ce peuplement domine pendant tout l'été jusqu'en

septembre 1988, date à laquelle, comme chaque année, les caves vinicoles de la région déversent leurs effluents très chargés dans le réseau d'égout. Comme le lagunage classique (BALEUX *et al.*, 1984), notre système s'en trouve perturbé et en conséquence voit disparaître les organismes Métazoaires (sauf les Nématodes) au profit des Protozoaires ciliés et des Rhizopodes. PONT (1977) observe dans des rizières de Camargue une baisse des effectifs de Cladocères filtreurs successive à la chute brutale des biomasses algales. Dans le lagunage à haut rendement, le flux de nutriments et de cellules algales est constant jusqu'en septembre. Alors que les microalgues ont disparu du milieu depuis déjà deux mois, le déclin des Daphnies intervient seulement lorsqu'apparaît une transformation radicale des conditions physico-chimiques du milieu (phénomène des « eaux rouges »).

Pendant cette période estivale, les Rotifères et *D. magna* ont une évolution qui se traduit respectivement par deux et trois pics d'abondance de biomasse. Ce phénomène est dû, selon DAJOZ (1974), à la température élevée de l'eau, qui augmente le nombre de générations annuelles. Il a été observé par plusieurs auteurs cités par POURRIOT *et al.* (1982) pour les Crustacés dans les lacs sous différents climats et également par TIFNOUTI (1987) pour *B. calyciflorus*. Pendant la seconde période estivale (groupe 5), le Copépode *Cyclops* sp et l'Ostracode *Cypris ovum* prennent le pas sur les Daphnies et les Rotifères. Cela explique la différenciation du groupe 4 par rapport au groupe 5. Les groupes 2 et 4 présentent des caractères identiques, à savoir un peuplement (caractéristique du printemps) dont les besoins considérables en nourriture peuvent être satisfaits grâce à un broutage efficace qui stimule la production d'un peuplement phytoplanctonique à tendance monospécifique. Il est composé d'espèces pionnières aux taux de croissance élevés. L'été 1989 (groupe 5) s'apparente plutôt à un « été indien ». En réponse au changement de la structure du peuplement phytoplanctonique (plus diversifié, formé de *Microcystis*, algues difficilement utilisables par les filtreurs), le déclin des Daphnies s'effectue en faveur de Crustacés moins dépendants vis-à-vis du flux de nourriture (ANGELI, 1976).

Les deux peuplements mis en évidence, celui du printemps et celui de l'été, correspondent à des exigences différentes quant à la quantité et à la taille des microalgues. Ces organismes montrent donc une très bonne capacité de filtration, nécessaire pour éliminer du milieu non seulement les matières particulaires mais aussi les bactéries.

Classés en dernière position par l'analyse discriminante, les Nématodes et les Rotifères n'apportent aucune information supplémentaire dans la discrimination des groupements chronologiques.

Ce sont donc les développements printaniers et estivaux de Crustacés, par opposition aux proliférations automnales et hivernales de Protozoaires, qui permettent la mise en évidence des groupes chronologiques. Cette évolution saisonnière est assez conforme à celle que l'on observe habituellement dans les bassins de lagunage classique et qui a été mise en évidence notamment par ANGELI (1979) dans le nord de la France. Cet auteur note cependant le maintien des Cladocères et des Rotifères durant tout l'été et une partie de l'automne alors que nous observons leur disparition très tôt à la fin du printemps 1989 au profit d'autres Métazoaires.

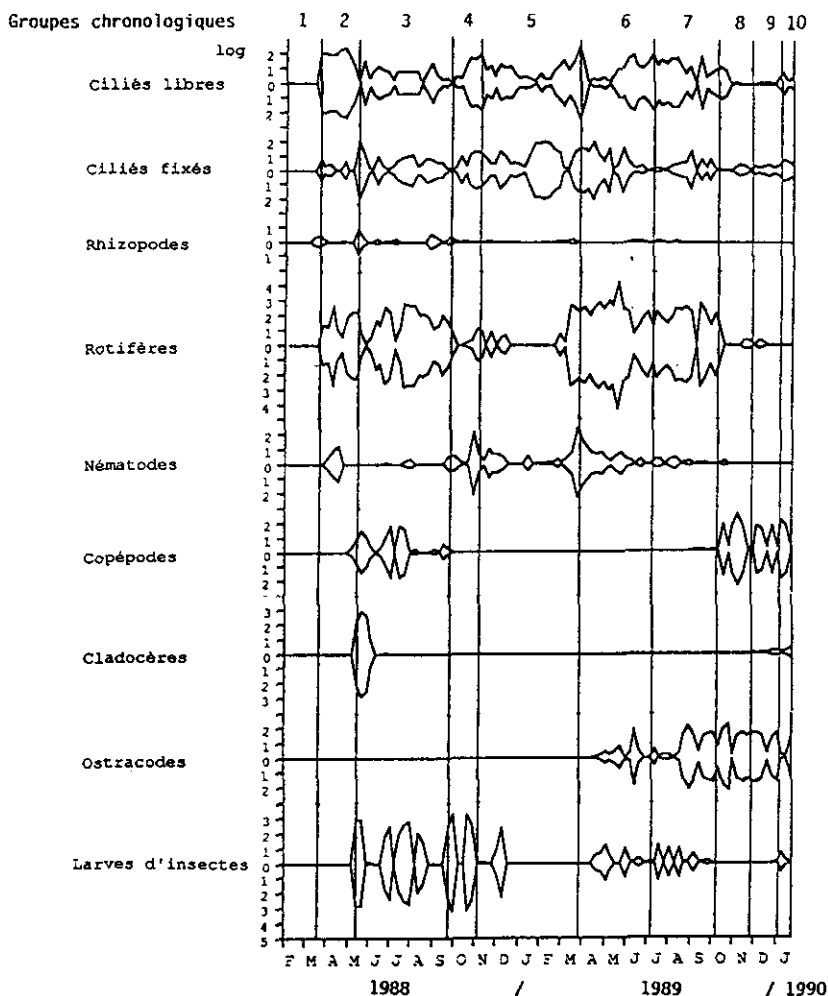


Figure 6 Evolution saisonnière des biomasses fraîches (mg.l^{-1}) des groupes taxonomiques de zooplancton dans le lagunage à haut rendement expérimental (bassin A) et résultats du groupement chronologique.

Seasonal variations of wet biomasses (mg.l^{-1}) of zooplankton categories in the experimental high rate pond (A) and results of a chronological clustering.

3.4 Effet de la variation du temps de séjour

Résultats

Afin d'étudier l'influence du temps de séjour sur ce système d'épuration, on réalise la comparaison du peuplement entre le bassin B dont le temps de

séjour reste constant (huit jours) et le bassin A dont on fait varier le temps de séjour en fonction des saisons dans le but d'optimiser le traitement biologique de l'eau et particulièrement l'élimination des nutriments. Nous avons employé les mêmes tests statistiques pour les résultats du bassin A afin de les comparer avec ceux du bassin B.

De la même façon que pour le bassin B, la distribution des fréquences et la description des groupes taxonomiques (*tableau 3*) permettent de diviser les biomasses en classes. Les dix groupements chronologiques formés (*tableau 4*) sont représentés graphiquement par la figure 6. L'analyse discriminante met en évidence des variations saisonnières principalement discriminées par les Rotifères, qui expliquent à eux seuls 24 % de prélèvements bien classés dans les groupes chronologiques.

Interprétation

Les groupes chronologiques 1 et 2 correspondent à la période de démarrage du lagunage, qui est caractérisée par le développement des Amibes suivi d'une prolifération de Ciliés libres. Dans le deuxième groupe chronologique apparaissent quelques Métazoaires. Dans ce bassin, la période de démarrage est divisée en deux séquences car contrairement au bassin B, le suivi débute avec des eaux usées ayant seulement subi un traitement primaire (le bassin B a fait l'objet d'un ensemencement phytoplanctonique préalable et d'un fonctionnement en batch pendant un mois). L'effet d'un enrichissement algal a donc un impact certain sur le démarrage d'un tel système, pour un même temps de séjour (huit jours).

La sixième séquence, caractérisée par la prolifération des Rotifères, correspond au printemps. Les groupes 3 et 7 correspondent aux étés 1988 et 1989 pour lesquels les temps de séjour sont de quatre pour 1988 et de deux-trois jours pour 1989. Pendant le premier été ce sont surtout les Rotifères, mais aussi les Daphnies et les Copépodes, qui se développent ; pendant le deuxième été seuls les Ostracodes cohabitent avec les Rotifères. Il apparaît donc une même structure du peuplement pour des temps de séjour différents. La diminution du temps de séjour favorise le développement des Rotifères et des Ostracodes, qui ont un temps de génération court, au détriment des Crustacés tels que *D. magna* dont le temps de génération est plus long. En culture à 20 °C, *D. magna* a une durée de vie de 20 jours et devient mature au bout d'une semaine (TEN BERGE, 1978).

4 - CONCLUSION

Cette étude a permis de préciser l'influence du facteur saisonnier sur la structure du peuplement zooplanctonique dans un bassin de lagunage à haut rendement sous climat méditerranéen. Celle-ci se traduit par une succession des groupes taxonomiques caractérisée par l'alternance entre un peuplement dominé par les Protozoaires (à temps de génération court) en automne et en

Tableau 3 Paramètres statistiques caractérisant les biomasses fraîches des groupes taxonomiques dans le lagunage à haut rendement expérimental (bassin A).

Table 3 *Statistic parameters of wet biomasses of zooplankton categories in the experimental high rate pond (A).*

	Nombre prélèvements (n)	Moyenne arithmétique (mg. l ⁻¹ p.f.)	Moyenne géométrique (mg.l ⁻¹ p. f.)	Médiane (mg. l ⁻¹ p.f.)	Minimum (mg. l ⁻¹ p.f.)	Maximum (mg. l ⁻¹ p. f.)
Ciliés libres	105	18,47	5,83	4,3	0	258
Ciliés fixés	105	9,05	3,66	1,4	0	94
Rhizopodes	105	0,15	1,09	0	0	6
Rotifères	105	250,05	13,15	9,8	0	16 227
Nématodes	105	4,16	1,66	0	0	182
Copépodes	105	8,02	1,84	0	0	241
Cladocères	105	10,91	1,23	0	0	652
Ostracodes	105	8,26	2,13	0	0	149
Larves d'insectes	105	63,84	2,61	0	0	1 597

Tableau 4 Moyenne géométrique des biomasses fraîches (mg.l⁻¹) des groupes chronologiques dans le lagunage à haut rendement expérimental (bassin A).

Table 4 *Geometric mean of wet biomasses (mg.l⁻¹) of chronological groups in the experimental high rate pond (A).*

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6	Groupe 7	Groupe 8	Groupe 9	Groupe 10
Nombre de prélèvements	7	8	19	2	20	15	13	7	10	4
Ciliés libres	0	78,18	4,20	1,58	5,74	7,97	21,04	5,86	1,03	2,56
Ciliés fixés	0	1,91	4,27	1,20	10,20	9,52	1,93	1,83	1,73	3,34
Rhizopodes	1,11	1,19	1,30	1,37	1,01	1,04	1,02	0	0	0
Rotifères	0	42,88	38,68	2,41	1,65	209,78	67,40	23,68	1,24	0
Nématodes	0	2,04	1,06	3,23	2,06	5,03	1,42	1,14	0	0
Copépodes	0	1,10	3,62	1,14	0	0	0	1,98	12,33	9,38
Cladocères	0	0	2,80	0	0	0	0	0	1,07	1,50
Ostracodes	0	0	0	0	0	1,36	3,53	19,56	20,17	6,55
Larves d'insectes	0	0	11,65	556,79	2,80	1,78	1,91	1,31	0	1,58

hiver et un autre par les Métazoaires (à temps de génération plus long) au printemps et en été. Cette structure semble obéir à la « théorie des successions écologiques » qui s'applique notamment aux populations aquatiques animales ou végétales, l'évolution d'un peuplement se traduisant par le passage d'une stratégie de croissance appelée stratégie *r* (de colonisation) à une stratégie d'équilibre appelée stratégie *K*. En milieu lacustre, AMBLARD (1987) montre que le concept des sélections *r* et *K* s'applique au phytoplancton. Par ailleurs, nous observons pour le zooplankton, dans un milieu parfaitement agité – étude hydraulique à l'appui (EL HALOUANI, 1990) – et alimenté toute l'année par des eaux très chargées en nutriments, le passage d'un peuplement à stratégie de développement de type *r*, constitué d'organismes colonisateurs de petite taille (en automne et en hiver), à un peuplement à stratégie de développement de type *K*, formé d'individus de grande taille, dont l'énergie sert non pas à fabriquer de nouveaux individus mais au maintien des individus déjà présents (au printemps et en été). Ce dernier type de communauté se distingue du premier par sa stabilité relative, et selon AMBLARD (1987) persiste jusqu'à ce que l'écosystème soit altéré par une perturbation de nature physique. Dans nos lagunages, la perturbation due aux rejets vinicoles en octobre a provoqué le remplacement du peuplement à stratégie d'équilibre (Crustacés) par un peuplement à stratégie de croissance (Protozoaires).

La dominance d'un groupe zooplanctonique est le résultat de la compétition pour la nourriture dont l'abondance et la nature varient en fonction de la qualité de l'eau (teneurs en nutriments) mais aussi des facteurs physiques et biologiques. Cette succession est la conséquence de l'influence de la température, de l'ensoleillement ou d'autres facteurs physiques, sur les caractères physico-chimiques et biologiques de l'eau.

Cette étude montre également que la masse d'eau de cet écosystème hypereutrophe possède une variabilité saisonnière plus marquée que celle d'un écosystème lagunaire classique. Il est possible, en jouant sur le temps de séjour, donc sur la composition algale et sur l'âge des populations phytoplanctoniques, de modifier rapidement la constitution du peuplement animal. La variation du temps de séjour entraîne un déplacement du spectre de taille des biomasses spécifiques reflétant des particularités métaboliques différentes. La réduction du temps de résidence a lieu en faveur des consommateurs herbivores ou détritivores de petite taille et de faible efficacité de filtration (stratégies *r*) et son augmentation permet de favoriser le développement et la reproduction des espèces de taille supérieure (stratégies *K*). Il est donc possible d'intervenir sur la forte saisonnalité des biomasses planctoniques qui caractérise ce type d'écosystème et sur la structure et la composition des peuplements. Ainsi, on peut envisager de produire des filtres très efficaces, les Crustacés, à partir des eaux usées donc de valoriser les microalgues produites, en passant d'un type d'habitat à l'autre. Si l'on désire favoriser l'espèce *D. magna* en raison de sa multiplication rapide et de sa taille considérable, on veillera à maintenir une culture algale jeune et dynamique en faisant varier le temps de séjour selon les conditions météorologiques. La biomasse zooplanctonique produite est plus facile à récolter que les microalgues et elle peut être valorisée comme source de protéines pour l'alimentation des poissons.

5 - REMERCIEMENTS

Cette étude a été en partie réalisée grâce au contrat E V 4 V-0071 - C(EDB) de la Communauté Economique Européenne.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMBLARD C., 1987. Les successions phyto-planctoniques en milieu lacustre. *Ann. Biol.*, 26 (1).
- ANGELI N., 1976. Influence de la pollution des eaux sur les éléments du plancton. In *La pollution des eaux continentales. Incidences sur les biocénoses aquatiques* (Edité par Pesson P.), Paris, Gauthier-Villards, 285 p.
- ANGELI N., 1979. Relations entre le plancton et la qualité de l'eau. Incidence des polluants sur le profil biologique de quelques canaux et étude comparative des interactions plancton-épuration en bassins expérimentaux. Thèse d'Etat es Sciences, Lille, 251 p. + annexes.
- BAHLAOUI A., 1990. Lagunage à haut rendement expérimental : dynamique de différents groupes bactériens et performances épuratrices sanitaires. Thèse d'Université, Montpellier II, 186 p. + annexes.
- BALEUX B., TROUSSELIER M., SABATIER R., 1984. Lagunage de Mèze : évolution de la pollution et optimisation du suivi du fonctionnement. Montpellier : Agence de bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 148 p. + annexes.
- BOTTRELL H.H., DUNCAN A., GLIWICZ Z.M., GRYGIEREK E., HERZIG A., HILLBRICHT-ILKOWSKA A., LARSSON P., WEGLENSKA T., 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norw. J. Zool.*, 24, 419-456.
- DAJOZ R., 1974. Dynamique des populations. Paris, Masson, Collection d'écologie 6, 301 p.
- DINGES R., 1974. The availability of *Daphnia* for water quality improvement and as an animal food source. Proc. Conf. Wastewater use in the production of food and fiber, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., June 1974, 142-160.
- EL HALOUANI H., 1990. Lagunage à haut rendement : caractérisation physico-chimique de l'écosystème, étude de son aptitude à l'élimination de l'azote et du phosphore dans l'épuration des eaux usées. Thèse d'Université, Montpellier I, 154 p. + annexes.
- GELLER W., MÜLLER H., 1981. The filtration apparatus of Cladocera : filter mesh-sizes and their implication on food selectivity. *Ecologia*, 49 (3), 319-321.
- GROENEWEG J., KLEIN B., MOHN F.K., RUNKEL K.H., STENGEL E., 1980. First results of outdoor treatment of pig manure with algal-bacterial systems. In *Algae Biomass : Production and use* (Edité par Shelef G. et Soeder C.J.), Amsterdam, Elsevier, 255-265.
- HALL D.J., THRELKELD S.T., BURNS C.W., CROWLEY P.H., 1976. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 7, 177-208.
- KOOPMAN B., BENEMANN J.R., OSWALD W.J., 1980. Pond isolation and phase isolation for control of suspended solids concentration in sewage oxidation pond effluents. In *Algae Biomass : Production and use* (Edité par Shelef G. et Soeder C.J.), Amsterdam, Elsevier, 135-162.
- LEGENDRE L., LEGENDRE P., 1984. *Ecologie numérique*. Tomes 1 et 2. Paris, Masson, 197 p. & 335 p.
- LEGENDRE P., 1985. The R package of multivariate data analysis. Montréal, Université de Montréal, Dépt. Sciences biologiques.

- LEGENDRE P., DALLOT S., LEGENDRE L., 1985. Succession of species within a community : chronological clustering, with applications to marine and freshwater zooplankton. *Am. Nat.*, 125, 257-288.
- LINCOLN E.P., HALL T.W., KOOPMAN B., 1983. Zooplankton control in mass algal cultures. *Aquaculture*, 32, 321-337.
- OSWALD W.J., 1963. High rate pond in waste disposal. *Development in Industrial Biotechnology*, 4, 112-119.
- OSWALD W.J., 1988. Large scale culture systems. Engineering aspects. In *Microalgal Biotechnology* (Edité par Borowitzka M. et Borowitzka L.), Cambridge : Cambridge University Press, 357-392.
- PIZAY-PARENTY M.D., 1985. Bassins de lagunage d'Aniche-Auberchicourt (Nord). Cinétiques saisonnières et spatiales du zooplankton et des descripteurs de la qualité de l'eau. Thèse de 3^{ème} cycle. Lille, Université des Sciences et Techniques, 195 p. + annexes.
- PONT D., 1977. Recherches sur l'évolution saisonnière du peuplement de Copépodes, Cladocères et Ostracodes des rizières de Camargue. Thèse de 3^{ème} cycle. Montpellier : Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 110 p. + annexes.
- POURRIOT R., CAPBLANCQ J., CHAMP P., MEYER J.A., 1982. *Ecologie du plancton des eaux continentales*, Paris, Masson, Collection d'écologie 16, 198 p.
- REYNOLDS C.S., 1989. Physical determinants of phytoplankton succession. In *Plankton ecology. Succession in plankton communities* (Edité par Sommer U.), Berlin, Springer-Verlag, 9-56.
- SCHLÜTER M., GROENEWEG J., SOEDER C.J., 1987. Impact of rotifer grazing on population dynamics of green microalgae in high-rate ponds. *Wat. Res.*, 21 (10), 1293-1297.
- SHELEF G., AZOV Y., MORAIN R., ORON G., 1980. Algal mass production as an integral part of waste treatment and reclamation system. In *Algae Biomass : Production and use* (Edité par Shelef G. et Soeder C.J.), Amsterdam, Elsevier, 163-169.
- SZE P., 1986. *A biology of the algae*. Dubuque, Iowa, USA : Wm. C. Brown Publishers, 251 p.
- TEN BERGE W.F., 1978. Breeding *Daphnia magna*. *Hydrobiologia*, 59 (2), 121-123.
- TIFNOUTI A., 1987. Zooplankton de bassins de lagunage de Marrakech. Structure du peuplement et dynamique des principales populations. Thèse de 3^{ème} cycle. Marrakech : Faculté des Sciences, 198 p. + annexes.
- VEDRY B., 1987. *L'analyse écologique des boues activées*, Vicq : SEGETEC, 2^{ème} éd., 117 p.
- WARD H., WHIPPLE G.C., 1959. *Freshwater biology*, 2nd ed. (Edité par Edmonson W.T.), New York, John Wiley & Sons, 1248 p.